doi:10.13866/j.azr.2020.01.01

近 60 a 来内蒙古极端降水时空变化及其影响①

马爱华[1]， 岳大鹏[1]， 赵景波[1,2]， 胡 倩[1]

(1. 陕西师范大学地理科学与旅游学院，陕西 西安 710119；
2. 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室，陕西 西安 710075)

摘 要:基于内蒙古地区 41 个气象站点 1958—2017 年的逐日降水数据,采用世界气象组织等推荐的 9 个极端降水指数,运用线性趋势分析、克里金插值法、Mann-Kendall 检验、Morlet 小波分析和主成分分析等方法研究了内蒙古地区近 60 a 来极端降水时空变化、周期规律和气象灾害效应。结果表明:内蒙古地区近 60 a 来出现了干燥化趋势,即伴随着降水量的减少,各极端降水指数出现不同程度的下降趋势,以 20 世纪 60 年代和 21 世纪初下降最为明显。各极端降水指数倾向率在空间上大体呈现出从东西部向中部递减的规律,大都以集宁、呼和浩特、通辽和新巴尔虎右旗为低值中心。各极端降水指数的最大概率突变年为 1995 年,此后出现了不显著下降的趋势。各极端降水指数均存在 3 ~5 a、14 ~17 a、20 a 左右的周期变化。除连续无雨日数外,各极端降水指数与年降水量之间均存在较好的相关性。内蒙古极端降水变化导致该区旱灾与风灾增多加重,草原沙漠化加强,洪灾与低温冻害减少减轻,应有针对性地采取措施加强旱灾与风灾预防。

关键词:极端降水;时空变化;降水突变;周期规律;内蒙古

在全球气候变暖的背景下,区域降水乃至全球降水普遍呈极端化趋势,由此引发的极端降水事件的频率和强度也发生变化[1]。有研究显示,极端降水会诱发洪水、干旱等自然灾害,严重影响人类社会和经济的发展,极端降水的变化已经成为当前气候变化研究的热点问题[2-5]。国内外学者主要从极端降水的时空分布变化[6-7]、机理和成因[8-10]、影响[11-12]、阈值[13]、预测[14]等方面进行了研究,特别是在不同尺度上的降水变化规律研究较多,包括全国尺度[15]、区域尺度[16]、省域尺度[17]、流域尺度[18]等。吴佳等[19]基于 24 个 CMIP5 全球耦合模式模拟结果,研究发现当代中国区域极端降水比平均降水对增温的响应更强。Sun 等[20]研究了近几十年降水指出,中国极端降水多发期分别出现在 20 世纪 60 年代初、90 年代中后期和 21 世纪初。高涛等[9]研究指出,长江中下游地区、东南地区和西北的部分区域极端降水有增加趋势,而华北、东北和西南的部分地区有减少趋势。尹占娥等[21]研究表明,中国极端降水风险等级均呈现由东南向西北方向降低,大致与中国人口密度分布的胡焕庸线一致。

内蒙古地处大陆内部,全年降水量少且年际分布不均,主要集中在夏季,使得内蒙古干旱和洪涝灾害频发,严重影响农牧业生产与人民生活。此前,学者们对内蒙古近几十年来的降水变化已有较多研究。殷方圆等[22]指出,内蒙古年均降水量在空间上呈现出明显的东西差异,由东部 400 ~500 mm 向西减少到 200 mm 以下。闫慧敏等[23]指出,表征强降水事件发生频率和强度的极端降水指标的显著变化发生在近 10 a。尤莉等[24]指出,内蒙古夏季平均降水量和全年降水极端事件没有显著的增减变化,但进入 21 世纪后,7—8 月极端降水事件和极端事件的降水量明显减少。白美兰等[25]研究发现,内蒙古极端降水事件指数均呈明显减小趋势,尤其在气温突变后,极端降水事件与降水强度减弱。但上述研究以极端降水变化为主,对气候变化的响应,特别是极端降水与气象灾害之间的联系研究较少。本文利用 9 种极端降水指数对内蒙古极端降水过程进行进一步研究,以期了解内蒙古极端降水的时空变化规律,更深刻地理解全球气候变化对内蒙古的影响,并探讨其引起的气象灾害效应,为内蒙古农牧业生产

① 收稿日期:2019-01-29; 修订日期:2019-06-05
基金项目:国家自然科学基金项目(41071012)资助
作者简介:马爱华(1995-),女,硕士研究生,主要从事水土资源评价与规划研究. E-mail:1048542841@qq.com
通讯作者:岳大鹏. E-mail:yuedp@snnu.edu.cn

布局和气象灾害预防提供科学依据。

1 研究区概况、数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

内蒙古地处中国北部边疆，介于37°24′~53°23′N、97°12′~126°04′E之间(图1)。全区总面积1.18×10^6 km^2，自西向东横跨中国西北、华北、东北3大地区。地形以内蒙古高原为主，平均海拔为1 000 m，地势平坦[26]。中东部气候属于干旱半干旱向东南沿海湿润、半湿润季风气候的过渡带[27]，西部属于内陆干旱气候，降水量由东北部向西南部减少，年均降水量在50~450 mm，年均气温在−4~9.2 ℃，因水热条件不同，植被由东北向西南依次为森林、草原、荒漠[28]。本区是我国重要的农牧业生产基地，且大部分处于农牧交错带，生态环境脆弱，加之气候变化和人类活动的影响，内蒙古生态恶化的速度进一步加快，成为全球变化的敏感区。

1.2 数据来源与研究方法

所用降水数据来自国家气象信息中心提供的“中国地面气候资料日值数据集”，该数据集经过反复检测与控制，质量较高。根据所用资料的连续性及时段最长性等标准，共选取了41个内蒙古自治区气象站点1958—2017年的逐日降水数据，其中针对缺测1~2 d的数据用相邻日的平均值插补，缺测3 d以上数据用同期数据资料的多年平均值插补。

选用世界气象组织气候委员会(World Meterological Organization's for Climatology，简称WMO-CCI)推荐的9个极端降水指数[17](表1)，通过RClimDex软件计算得到各站点的极端降水指数值。采用线性回归和5 a滑动平均法分析时间序列的趋势特征，运用普通克里金插值法分析极端降水指数的空间分布规律，以M-K突变检验和Morlet小波分析法检测降水的突变情况和周期变化，运用主成分

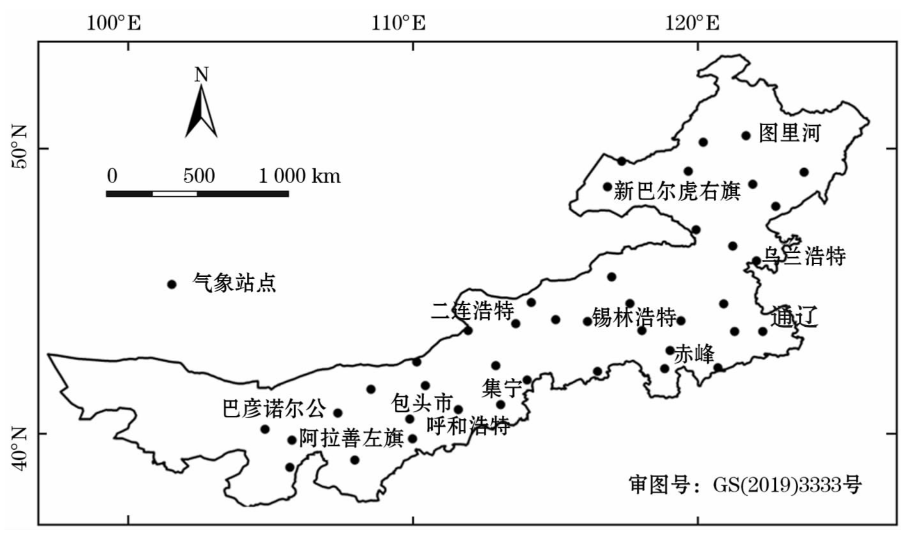


图1 内蒙古气象站点分布示意图

Fig. 1 Distribution of the meteorological stations in Inner Mongolia

表1 极端降水指数名称及定义

Tab. 1 Definitions of the extreme precipitation indices

指数	英文缩写	定义	单位
连续无雨天数	CDD	年内日降水量连续低于1 mm的日数最大值	d
连续降水天数	CWD	年内日降水量连续高于等于1 mm的日数最大值	d
年降水量	PRCPTOT	年内日降水量≥1 mm的降水量之和	mm
极端降水总量	R95P	日降水量>95%分位值的总降水量	mm
非常极端降水总量	R99P	日降水量>99%分位值的总降水量	mm
雨日天数	RD	日降水量大≥1 mm的日数	d
1 d最大降水量	Rx1day	月内最大的1 d降水量	mm
5 d最大降水量	Rx5day	月内最大的连续5 d降水量	mm
降水强度	SDII	年内日降水量之和与日降水量≥1 mm的日数之比	mm·d^{-1}

分析和相关性分析进行极端降水指数变化的一致性分析。

2 结果与分析

2.1 极端降水的时间演化

1958—2017 年内蒙古地区极端降水指数变化较为明显(图 2,表 2),均呈下降趋势。其中,连续降水天数、雨日天数和降水强度呈小幅下降趋势,其倾向率分别为 -0.039 d·(10a)$^{-1}$、-0.333 d·(10a)$^{-1}$和 -0.021 mm·d^{-1}·(10a)$^{-1}$。从 5 a 滑动平均来看,连续降水天数在 20 世纪 60 年代末 70 年代初和 21 世纪初均出现偏低的情况,即在下降过程中伴随着双峰形的变化。雨日天数在 20 世纪 60 年代、90 年代以及 21 世纪初期出现低值。降水强度在 20 世纪 60 年代和 21 世纪初期呈现低值趋势。连续无雨天数、极端降水总量、非常极端降水总量、1 d最大降水量和 5 d 最大降水量均呈现下降趋势,变化率分别为 -1.58 d·(10a)$^{-1}$、-2.24 mm·(10a)$^{-1}$、-1.467 mm·(10a)$^{-1}$、-0.69 mm·(10a)$^{-1}$和 -1.213 mm·(10a)$^{-1}$。从 5 a 滑动平均来看,持续干期在 20 世纪 60 年代呈明显下降趋势。极端降水总量在 60 年代、90 年代和 21 世纪初期出现低值,1998 年达到峰值,2012 年达到第 2 峰值,极端降水总量和非常极端降水总量趋势一致。1 d最大降水量在 60 年代和 21 世纪初期出现明显低值,5 d 最大降水量与 1 d 最大降水量趋势一致。年降水量呈明显下降趋势,变化率为 -3.227 mm·(10a)$^{-1}$。从 5 a 滑动平均来看,年降水量在 20 世纪 60 年代和 90 年代以及 21 世纪初期出现下降趋势。

2.2 极端降水的空间变化

1958—2017 年内蒙古各极端降水指数表现出

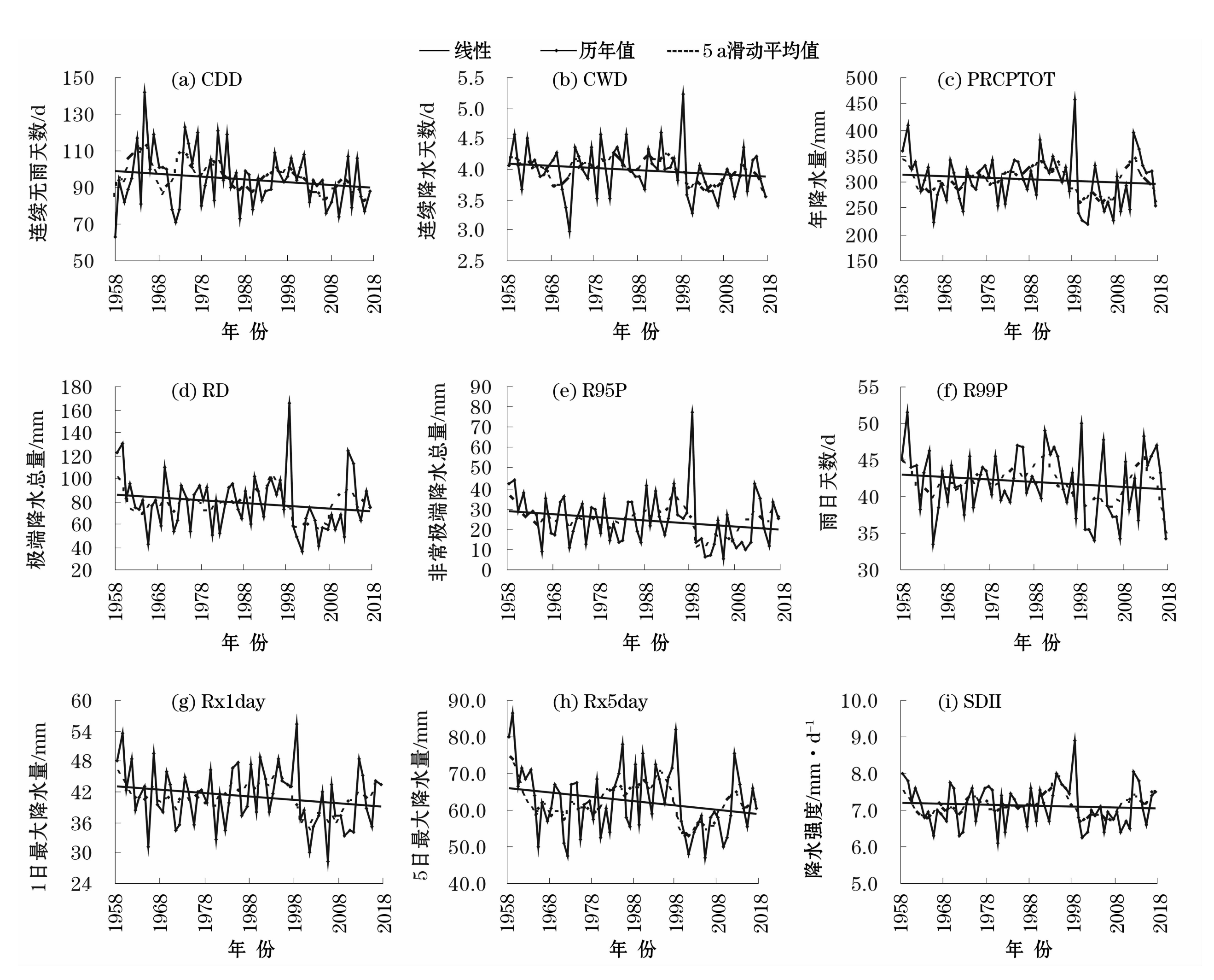


图 2 1958—2017 年内蒙古极端降水指数的时间变化

Fig. 2 Temporal variation of extreme precipitation indices in Inner Mongolia during 1958 – 2017

表 2　1958—2017 a 内蒙古极端降水指数倾向率

Tab. 2　Tendency rates of extreme precipitation indices in Inner Mongolia during 1958 – 2017

降水指数	CDD	CWD	PRCPTOT	R95P	R99P	RD	Rx1dy	Rx5dy	SDII
	/[d·(10a)$^{-1}$]		/[mm·(10a)$^{-1}$]			/[d·(10a)$^{-1}$]	/[mm·d^{-1}·(10a)$^{-1}$]		
降水指数倾向率	-1.58	-0.039	-3.227	-2.24	-1.467	-0.333	-0.69	-1.213	-0.021

一定的空间分布差异。对内蒙古 41 个站点的各极端降水指数做克里金插值,获得其在区域上的连续空间分布(图 3)。内蒙古连续无雨天数空间分布从东部向西部呈增加的趋势,总体来看倾向率呈下降趋势,只有 10 个站点呈微弱上升趋势,主要分布在西部地区。连续降水日数和年降水量空间上由东西部向中部呈递减的趋势,中东部站点倾向率下降明显,西部部分站点上升。降水日数、极端降水总量和 5 d 最大降水量大体上从东西部向中部减少,中部出现 2 个低值区,在西部和东部各出现 1 个明显的高值点。非常极端降水总量和 1 d 最大降水量都是从东、西、北向中南部减少,形成以呼和浩特为中心的 1 个低值区。降水强度从东西部向中部减少,但是极低值出现在东部的新巴尔虎右旗。其中,年降水量出现 3 个低值中心,分别以集宁、通辽和内蒙古东部海拉尔市的新巴尔虎右旗为中心。雨日天数、极端降水总量和 5 d 最大降水量也出现以集宁和通辽为中心的 2 个低值中心,连续无雨天数出现以新巴尔虎右旗和乌兰浩特与通辽交界处为中心的低值。连续降水日数出现以赤峰为中心的低值区,非常极端降水总量和 1 d 最大降水量出现以呼和浩特为中心的低值区,降水强度出现以新巴尔虎右旗为中心的 1 个低值区。

2.3　极端降水的突变分析

由以上分析可知,内蒙古各极端降水指数呈下降趋势,对各指数进行M-K检验(图4)。由图4可

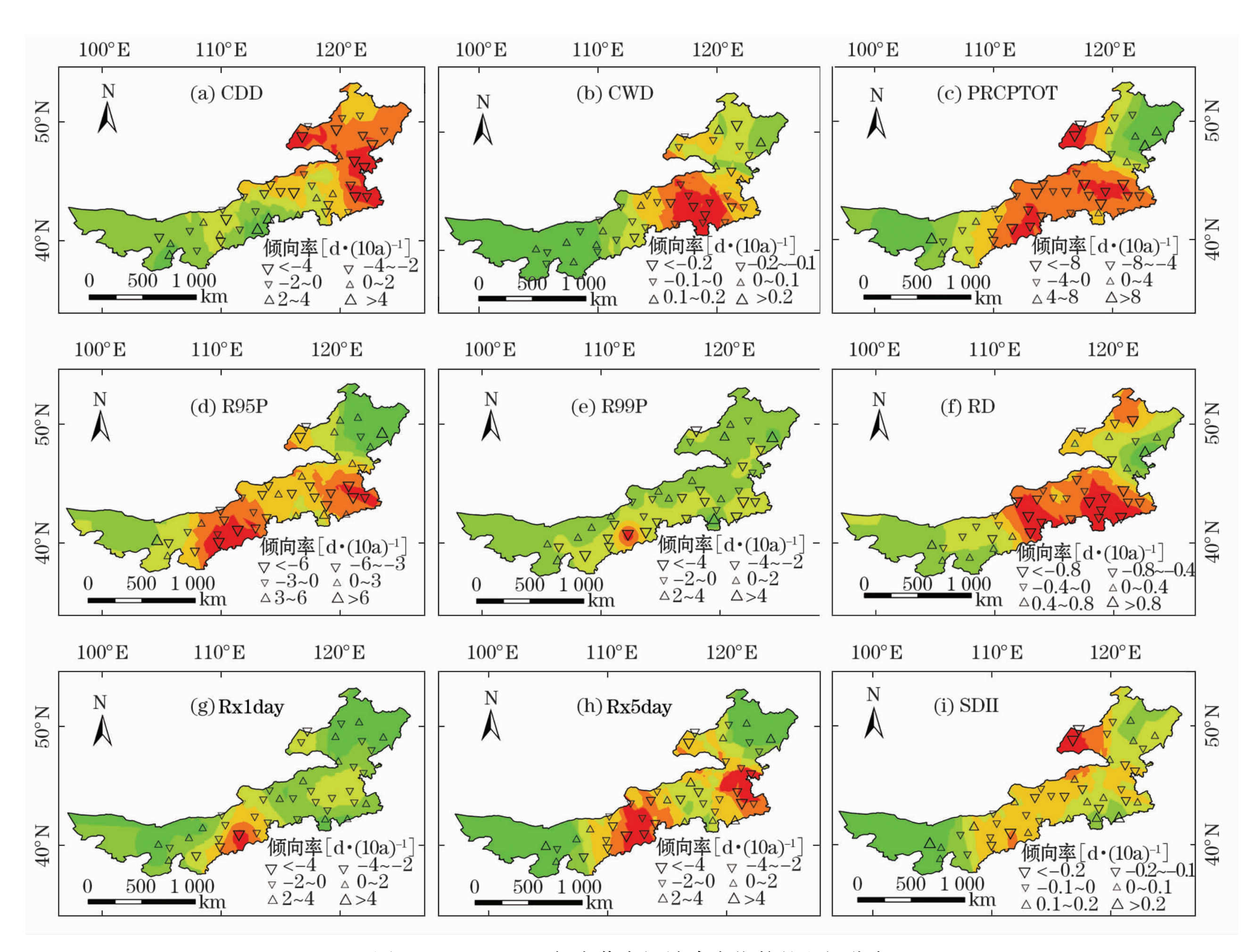


图 3　1958—2017 年内蒙古极端降水指数的空间分布

Fig. 3　Spatial distribution of extreme precipitation indices in Inner Mongolia during 1958 – 2017

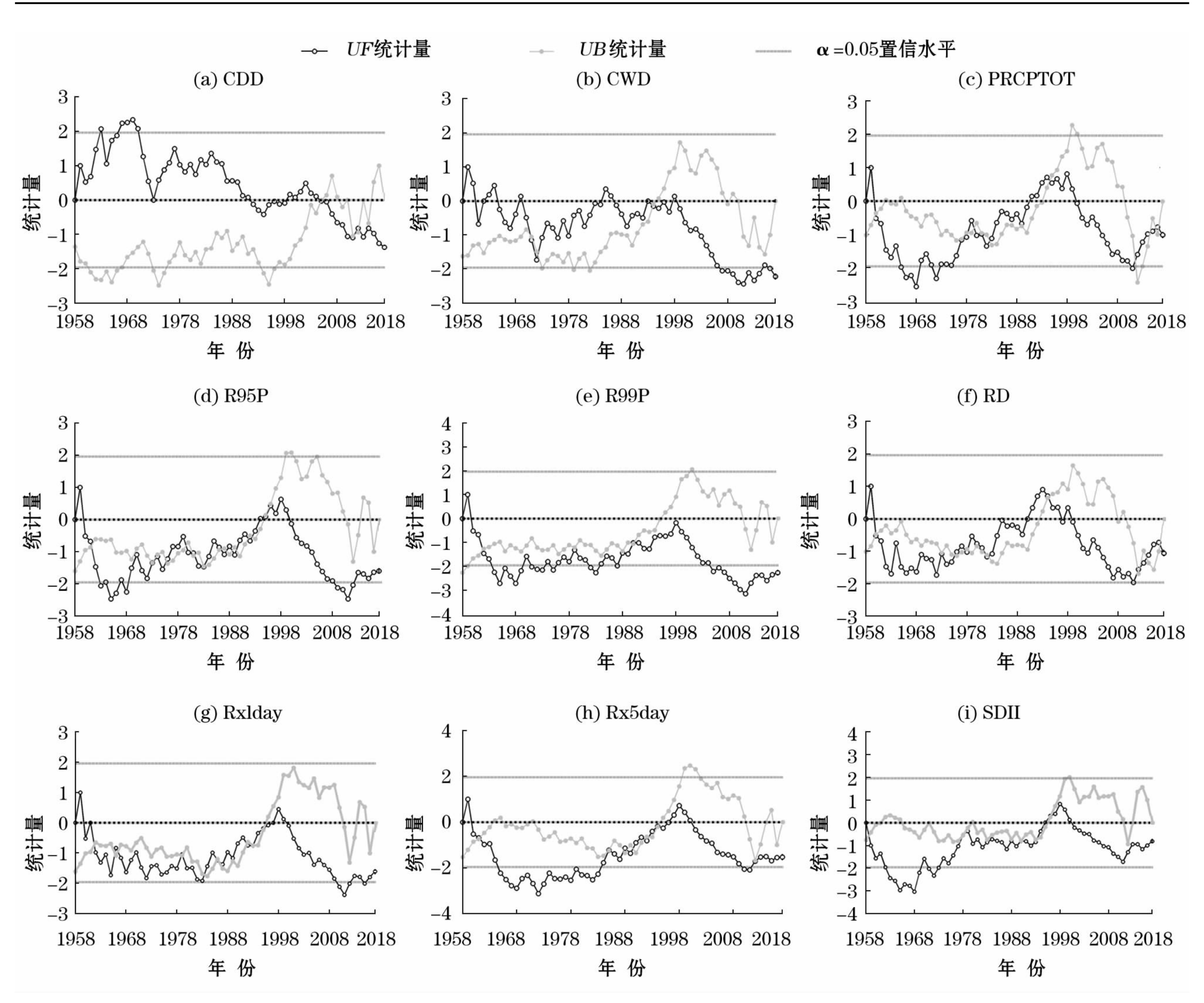


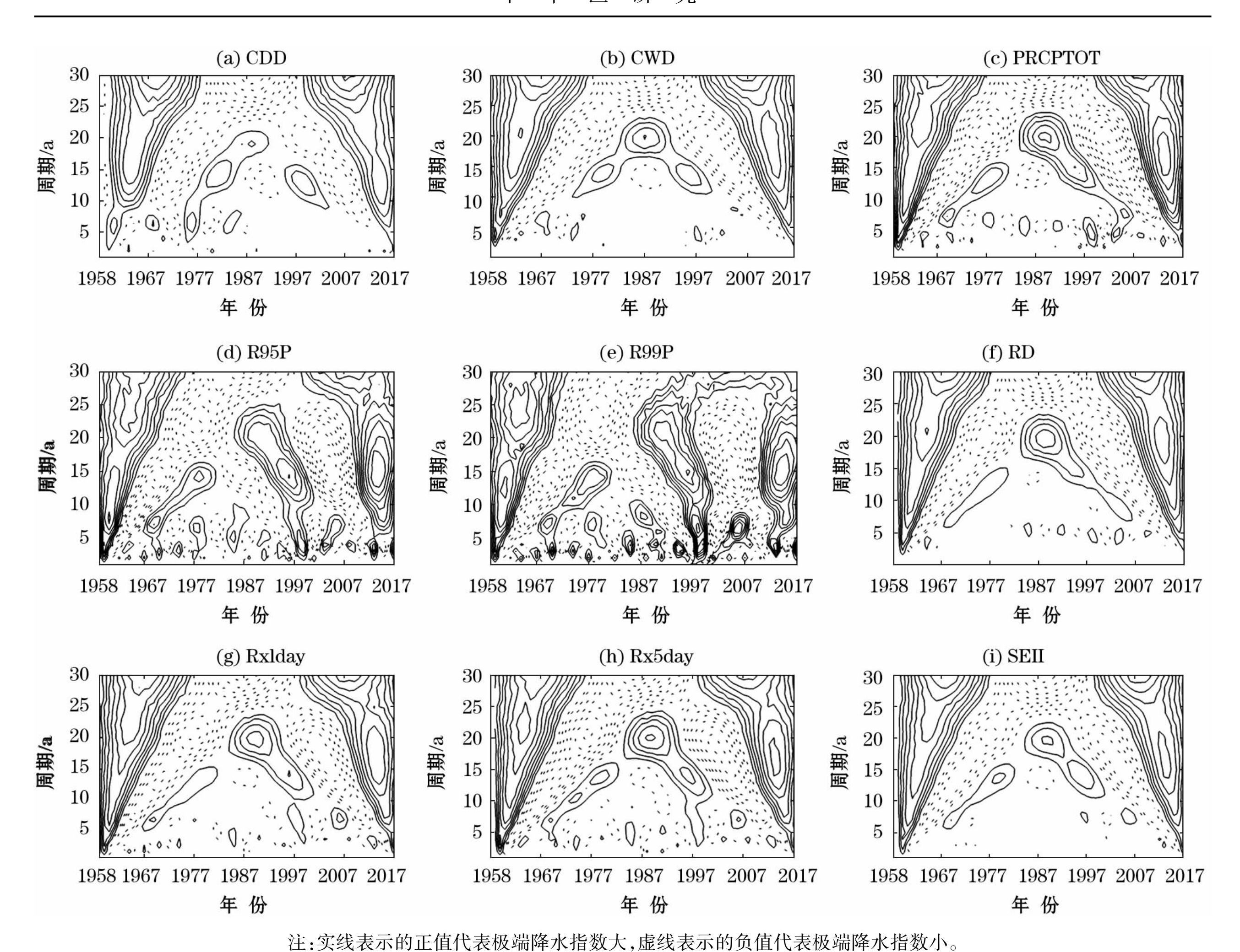
图 4　1958—2017 年内蒙古极端降水指数的 M-K 突变检验

Fig. 4　Mann-Kendall test on extreme precipitation indices in Inner Mongolia during 1958 – 2017

知,连续无雨天数的 *UF* 和 *UB* 曲线相交于 2005 年,但曲线基本处于置信水平线之间,并未对整体趋势产生较大影响。连续降水日数的 *UF* 曲线基本处在 0 之下,表明其总体上是在下降的,另外 *UF* 和 *UB* 曲线在 1994 年相交,也就是从 1994 年以后连续降水日数明显下降。年降水量的 *UF* 和 *UB* 曲线相交于 1960 年和 1995 年,说明这两年变化幅度较大,但 2 条线总体上处在置信水平线之内,数值多是负值,表明年降水量下降的趋势并不明显。雨日天数、极端降水总量和 1 d 最大降水量交点太多,即代表突变点,没有明显统计学意义,虽然数值大都处于 0 以下,也不能表明其突变的趋势。非常极端降水总量 *UF* 和 *UB* 曲线交于 1990 年,在 1990 年之前呈波动下降趋势,1990 年之后呈现出明显的下降趋势。5 d最大降水量的 *UF* 和 *UB* 曲线大概交于 1994 年,表明 1995 年是 1 个突变年,1995 年之后呈下降趋势。降水强度 *UF* 和 *UB* 曲线相交于 1959 年和 1996 年,出现 2 个下降时期,其中 1967 年前后下降趋势显著。总的来看,各种极端降水指数都呈现出不明显的下降趋势。

2.4　极端降水的周期分析

对内蒙古极端降水指数时间序列进行小波分析,得到小波系数等值线图(图 5)。由图 5 可知,连续无雨天数存在 7 a、14 a 左右的准周期变化,其中 20 世纪 60—80 年代存在 7 a 周期、14 a 周期较明显,是主导周期,总的来看呈现多—少—多—少—多的变化。连续降水日数存在 7 a、14 a、20 a 左右的准周期,其中 7 a 周期不明显且不连续,14 a 周期仅存在于 70 年代末到 90 年代前期,20 a 周期贯穿整个研究时域,经历了多—少—多—少—多的变化。年降水量存在 7 a、14 a、17 a、20 a 的准周期,其中 7 a周期较为复杂且变化多样,14a周期和20a周期



注:实线表示的正值代表极端降水指数大,虚线表示的负值代表极端降水指数小。

图 5 1958—2017 年内蒙古极端降水指数小波变化系数

Fig. 5 Wavelet analysis of extreme precipitation indices in Inner Mongolia during 1958 – 2017

都出现在 70—80 年代,总的来看是经历了多—少—多—少—多的变化周期。雨日天数存在 5 a、14 a、20 a 的准周期,其中 5 a 和 14 a 周期都不明显且 5 a 周期不连续,而 20 a 周期贯穿了整个研究阶段,经历了多—少—多—少—多的周期变化,是雨日天数的主周期。极端降水总量存在 3 a、7 a、14 a、22 a 左右的准周期,其中 3 a 周期短暂且不明显,7 a 周期连续,14 a 周期基本贯穿研究阶段,是主导周期,经历了多—少—多—少—多—少—多的周期变化,22 a周期仅出现在 70 年代。非常极端降水总量存在 3 a、7 a、14 a、17 a、25 a 的准周期变化,其中 3 a 周期和 14 ~ 17 a 周期贯穿整个研究阶段,14 ~ 17 a 周期明显呈现多—少—多—少—多的变化,是主导周期。1 d 最大降水量存在 3 a、7 a、14 a、17 a、20 a 的准周期变化,其中 3 a 和 7 a 周期不连续且不明显,14 a 和20 a周期出现在 60—90 年代,17 a 周期出现在 21 世纪。总的来看,14 ~ 17 a 周期也呈现出多—少—多—少—多的变化。5 d 最大降水量存在 3 a、7 a、10 a、14 a、17 a、20 a 的准周期变化,其中 3 a、7 a、10 a周期变化不连续且不明显,14 a和 20 a 周期出现在 60—90 年代,17 a 周期出现在 21 世纪,变化规律同日最大降水量保持一致。降水强度存在 7 a、14 a、20 a 的周期变化规律,其中 7 a 周期不连续且不明显,14 a 和 20 a 周期出现在 60—90 年代,14 a 周期变化呈多—少—多—少—多的变化。

总的来说,各极端降水指数呈现出 7 a、14 a、17 a、20 a 的周期变化,但是大都不能贯穿整个研究时域,以 14 ~ 17 a 周期为例,呈现出多—少—多—少—多的变化,由图 5 也可以看出,内蒙古各极端降水指数还存在一个更长的周期,但由于研究时域有限没能够将其显现出来。

2.5 降水指数变化的一致性

据以往研究,年降水量的多少和强度与干旱事件之间有一定关系,各极端降水指数与年降水量之

间也存在一定的相关关系[17]。对各极端降水指数与年降水量进行主成分分析(表 3)和相关性分析(表 4)。从表 3 可以看出,除连续无雨天数外的所有指数在第一因子中载荷最高,占方差贡献率的 68.38%,表明年降水量与极端降水指数之间变化趋势一致。连续无雨天数在第二因子中载荷较高,占方差贡献率的 13.07%。

从表 4 可以发现,各极端降水指数与年降水量之间相关性较好,其中雨日天数和极端降水总量与年降水量的相关性最好,相关系数达 0.90 以上,除连续无雨天数外,其他各极端降水指数与降水量的相关性都在 0.60 以上。除连续无雨天数外,各极端降水指数之间相关性最低,为 0.43。由此发现,除连续无雨天数外,各极端降水指数对内蒙古地区的降水均有很好的指示作用,各极端降水指数之间也有很好的相关性。

表 3 1958—2017 年内蒙古极端降水指数的因子载荷与解释方差

Tab. 3 Factor loadings and explained variances in extreme precipitation indices in Inner Mongolia during 1958 – 2017

因子	年降水量	CDD	CWD	RD	R95P	R99P	Rx1day	Rx5day	SDII	贡献率/%
1	0.945	-0.109	0.656	0.761	0.971	0.904	0.913	0.924	0.891	68.379
2	-0.057	0.946	0.506	0 -.097	-0.058	0.019	-0.081	0.035	-0.024	13.071

表 4 1958—2017 年内蒙古极端降水指数的相关性分析

Tab. 4 Correlation coefficients of extreme precipitation indices in Inner Mongolia during 1958 – 2017

	年降水量	CDD	CWD	RD	R95P	R99P	RX1day	RX5day	SDII
年降水量	1.000								
CDD	-0.159	1.000							
CWD	0.631	0.242	1.000						
RD	0.902	-0.205	0.583	1.000					
R95P	0.922	-0.138	0.567	0.712	1.000				
R99P	0.766	-0.035	0.483	0.505	0.885	1.000			
RX1day	0.777	-0.117	0.430	0.567	0.878	0.916	1.000		
RX5day	0.804	-0.086	0.624	0.615	0.859	0.844	0.881	1.000	
SDII	0.798	-0.074	0.461	0.486	0.908	0.847	0.841	0.804	1.000

近百年来全球变暖毋庸置疑,从 1980—2012 年,全球地表平均温度大约升高了 0.85 ℃[29]。而我国自 1961 年以来,区域性的高温事件、干旱事件和强降水事件也逐渐增多。有研究表明,气候变暖加快了水循环,导致极端降水增加。据研究,我国区域有效降水的趋势与大尺度环流的变化存在显著的相关性[30],并且大尺度环流形态发生变化是因为全球变暖,改变了海陆热力性质差异而引起的[9]。董祝雷等[31]进一步指出,内蒙古夏季降水呈显著减少趋势,并与亚洲纬向环流呈负相关关系,即在亚洲纬向环流指数高值年对流活动减弱,而副热带高压位置偏南、偏东,不利于水汽输送到中国北方,进而造成内蒙古地区夏季降水偏少。总之,内蒙古地区干燥少雨,加之近 60 a 降水量不断减少,造成该区极端降水减少。

3 极端降水变化

3.1 极端降水减少造成的旱灾与草原沙漠化

极端降水事件诱发的干旱对自然环境和人们的生产生活产生了极大影响,全球旱灾每年平均损失 $6.00\times10^9\sim8.00\times10^9$ 美元,受影响的总人口达到所有自然灾害之最,同时农业方面也遭受了巨大损失[32]。据《中国水旱灾害公报 2013》统计,自 20 世纪 90 年代以来,我国因干旱造成的年均粮食损失已达到 2.60×10^{10} kg,因干旱造成的年均工业损失超过 2.00×10^{11} 元,干旱年份饮水困难人口超过 2.70×10^7 人[33]。

自 20 世纪以来,随着全球变暖,全球气候与环境发生了重大变化,使干旱灾害问题更加突出[34]。内蒙古地处干旱半干旱敏感地带,暖干化趋势更加

显著,干旱灾害加重[35]。内蒙古干旱半干旱地区占全区总面积的 70%,干旱灾害占气象灾害的71%[36]。根据气象资料所载,呼和浩特市 1969 年10 月 24 日至 1970 年 2 月 21 日连续 121 d 无降水,巴彦淖尔盟临河市 1957 年 9 月 15 日至 1958 年 4 月 2 日连续 220 d 无雨,西部其他各地历年最长连续无雨天数平均达到 90 d 以上,内蒙古西部地面干旱范围广,对牧草返青影响很大。如 1972 年,受灾面积达 9.64×10^5 hm^2,受旱旗县达 30 个,减产粮食 2.40×10^5 t[37]。2016 年受超强厄尔尼诺现象影响,内蒙古多地遭受了程度重、范围广的旱灾,旱情波及赤峰、通辽、呼伦贝尔、锡林郭勒盟等 8 个盟市 18 个旗县,农作物受旱面积 2.79×10^6 hm^2、草场受旱面积 2.60×10^7 hm^2,干旱造成了 3.50×10^5 人、3.18×10^6 头牲畜出现饮水困难问题。2017 年,内蒙古旱灾造成 10 盟市 66 个旗县区共 4.34×10^6 人受影响,直接经济损失 5.00×10^9 元[38]。

从旱灾发展趋势分析,近 60 a 内蒙古旱灾呈增加趋势。对旱灾频率进行年代统计(表 5)[36],可看出内蒙古轻旱发生次数减少,中旱和重旱增加,严重旱灾显著增加,旱灾等级呈上升趋势。1958—2017 年,该区出现十年九旱、四年三中旱、三年一大旱的现象。在 1978 年以前的 30 a 间,受灾范围在 1.33×10^6 hm^2 以上的只有 8 次,1978—2006 年达到 16 次,21 世纪以来每年的受灾范围都在 2.00×10^6 hm^2 以上,受灾范围逐步扩大[36]。

内蒙古草原面积辽阔,总面积为 7.59×10^7 hm^2,占全国草场面积的 27%[39],而退化草原占草原总面积的 59%,并且还在以每年数十万公顷的速度退化和沙化。与 20 世纪 50 年代相比,草原平均产草量减少了 30% 以上。内蒙古荒漠化的加剧使草甸草原的生产力下降到原生群落的25% ~30%,典型草原的生物量也下降了 60% ~80%,草群覆盖度显著降低[40]。内蒙古草原荒漠化不仅危及当地农牧民的生存和发展,也威胁着整个华北地区的生态安全。

表 5　内蒙古旱灾频率变动趋势

Tab. 5　Change trend of drought frequency in Inner Mongolia

年代	轻旱频率/%	中旱频率/%	重旱频率/%	极旱频率/%	旱灾频率/%
20 世纪 50 年代	60	10	20	10	100
20 世纪 60 年代	10	30	50	10	100
20 世纪 70 年代	40	40	10	10	100
20 世纪 80 年代	0	50	20	30	100
20 世纪 90 年代	20	10	30	40	100
21 世纪以来	0	0	0	100	100

3.2　极端降水造成的风灾与低温冻害

大风和低温作为灾害性天气,它们与气候变化密不可分。内蒙古地区降水减少,极端降水指数趋于缓慢下降,容易引起风灾。而全球变暖和极端降水的减少会导致低温冻害的减少。

从 20 世纪下半叶以来,内蒙古大风天气次数有所增加,并且在 70 年代末达到顶峰,80—90 年代有所回落,但后期增多,进入 21 世纪后开始明显增加[41]。另外,大风极易引起沙尘天气,加之草原生态恶化,会导致牧区浮尘、扬沙和沙尘暴的发生由 20 世纪 50 年代的 6 d 左右增加到现在的 20 多天,其中 2001 年达到 60 d,内蒙古成为我国最重要的沙源区[42]。沙尘暴发生次数在 1995 年开始减少,在 1999 年开始增加,并在 2001 年达到最大值,之后又开始减少,2003 年达到最小值,2004 年开始波动增加[43]。总体而言,沙尘暴发生频次呈上升趋势,并达到极显著水平[44]。据资料显示,1999 年 4 月 3—4 日,呼和浩特接连 2 d 发生持续大风及沙尘暴天气。沙尘暴的范围从内蒙古的西部延续到东部的通辽市,瞬时风速达到 16 $m\cdot s^{-1}$,伊克昭盟达拉特旗风力高达 10 级[37]。2017 年 8 月 11 日下午,内蒙古赤峰市克什克腾旗和翁牛特旗的 5 个村组遭遇强风灾害,造成 5 人死亡、50 余人受伤以及重大财产损失。

1958—2018 年,内蒙古气温变化以增温为主,低温冻害呈下降趋势。在低温冻害时期,气温低于正常值,人畜不能正常生活,农作物无法正常生长,树木、禾苗被冻死,粮食减产甚至绝产。从 1958 年以来,内蒙古地区几乎每年都有低温冻害发生,表现形式除了降温之外,还有暴风雪,严重的时候出现白毛风[41]。内蒙古雪灾主要发生在 11 月至次年 3 月,占全年总次数的 83.3%,是当地冬春季节最为严重的气象灾害之一。当雪灾出现时,积雪会将草地掩埋,牲畜的草料难以补充,仔畜的死亡率增加。内蒙古极端降雪事件在 20 世纪 70 年代发生频次最高,其次是 60 年代和 21 世纪以来的前 10 a,近些年来,极端降雪事件每年平均发生 16 站次[45]。从表 6 看出,极端降雪事件在 20 世纪 80 年代最低,而后逐渐升高,并且各年代极端降雪时间和地点与极端降

表 6　内蒙古各时段极端降雪情况

Tab. 6　Extreme snowfall in Inner Mongolia in different periods

时段	站点比例/%	时段极值/mm	出现时间	出现地点
1961—1970	16.8	30.4	1966-04-15	兴安盟扎赉特旗
1971—1980	21.5	22.9	1977-10-29	兴安盟索伦
1981—1990	8.4	24.8	1982-05-12	乌兰察布市察右中旗
1991—2000	15.0	38.2	1994-05-03	赤峰市岗子
2001—2010	17.7	25.6	2004-04-22	乌兰察布市兴和县
2011—2015	20.6	46.0	2012-11-04	赤峰市喀喇沁旗

水保持一致,1981 年 5 月 10—11 日,内蒙古中东部地区出现强降雪过程,降雪量 10~20 mm,风力 8~10 级,24 h 降温 10 ℃以上,暴风雪共造成 27 人以及 1.0×10^5 头以上牲畜死亡。2000 年 12 月 31 日至 2001 年 1 月 1 日,内蒙古中东部的 5 个盟市(锡林郭勒、赤峰、通辽、兴安、呼伦贝尔)出现了 1 次强暴风雪过程,受灾农牧户达 4.83×10^5 户,受灾人口 2.57×10^6 人,受灾草场面积 2.81×10^7 hm^2,受灾牲畜2.32×10^7 头,因灾死亡牲畜 3.84×10^5 头,有 29 人在暴风雪中丧生[46]。2018 年 4 月 13 日 14:00 左右,锡林郭勒盟东乌珠穆沁旗、二连浩特市等地风力加大,额吉淖尔镇洪格尔嘎查 15:00 出现 10 级大风,并伴有沙尘暴天气,局地能见度不足10 m。

3.3　近 60 a 来洪涝灾害变化

中国每年洪涝灾害经济损失占气象灾害经济总损失的 37.2%,死亡人数占 11.7%,1998 年长江流域洪水造成 2.23×10^8 人受灾,死亡人数 3 704 人,直接经济损失 3.60×10^9 美元[9]。根据《中国水旱灾害公报》统计 2006—2012 年中国干旱半干旱区 9 省区的农作物受灾面积和对应的总极端降水量可知,中国干旱半干旱区的洪涝灾害与极端降水量的大小有紧密联系,在一定程度上,极端降水量的变化可用于分析干旱半干旱区的洪涝灾害演变[47]。近 60 a 来内蒙古极端降水指数下降,极端降水量减少,洪涝灾害相应地也在减少减轻。但洪涝灾害仍是内蒙古地区发生频次较高的自然灾害,对农作物生长和人们生活造成了巨大影响。据资料显示,2011 年,受异常气候影响,内蒙古部分地区出现强降水过程,造成了洪涝灾害,4 个盟市的 23 个旗县遭受洪涝灾害,受灾人数达 4.46×10^5 人。这次灾害中,因洪水死亡 12 人,雷击死亡 1 人,大牲畜死亡 2 530 多头,房屋倒塌 3 300 间,农作物受灾 1.39×10^5 hm^2,成灾面积 1.06×10^5 hm^2,绝收面积 7.05×10^4 hm^2,粮食减产 9.65×10^9 kg。2012 年 8 月上旬,赤峰市、通辽市、兴安盟、呼伦贝尔等 11 个盟市的 70 个旗、县、区遭遇洪涝灾害,受灾人数超过 1.96×10^6 人。其中,死亡人数 22 人,死亡大牲畜 2 530 多头,倒塌或损坏房屋 1.60×10^4 间以上,农作物受灾或绝收 6.19×10^5 hm^2[48]。2018 年 8 月 31 日至 9 月 2 日,内蒙古中西部大部分地区出现降雨,并且降雨范围大,持续时间长,导致大面积农田被水浸泡、房屋进水和道路积水。在呼和浩特、乌海、鄂尔多斯等 6 市(盟)13 个县(区、旗),有 8.9×10^4 人受灾,3 人溺水死亡,900 余人紧急转移,200 余间房屋遭到不同程度的损坏,而农作物受灾面积达 3.02×10^4 hm^2,其中绝收近 400 hm^2,造成直接经济损失 3.30×10^8 元。

4　结论与讨论

(1) 从时间序列来看,内蒙古地区近 60 a 来极端降水指数连续无雨天数、连续降水天数、年降水量、雨日天数、极端降水总量、非常极端降水总量、1 d最大降水量、5 d 最大降水量和降水强度都呈下降趋势。其中,年降水量下降最为明显,雨日天数下降最不明显。

(2) 从空间变化来看,内蒙古地区的极端降水指数总体上表现出从东西部向中部递减的趋势。其中,年降水量出现 3 个低值中心,分别以集宁、通辽和内蒙古东部海拉尔市的新巴尔虎右旗为中心。雨日天数、极端降水总量和 5 d 最大降水量也出现以集宁和通辽为中心的 2 个低值中心,连续无雨日数出现以新巴尔虎右旗和乌兰浩特与通辽交界处为中心的低值。连续降水日数出现以赤峰为中心的低值区,非常极端降水总量和 1 d 最大降水量出现以呼和浩特为中心的低值区,降水强度出现以新巴尔虎右旗为中心的 1 个低值区。

(3) M-K 突变检验表明,雨日天数、极端降水总量和 1 d 最大降水量突变点太多,突变不明显。连续无雨天数在 2005 年之后出现不显著下降趋势,非常极端降水总量在 1990 年之后出现下降趋势,连续降水天数、年降水量、5 d 最大降水量和降水强度在 1995 年前后出现较明显的下降趋势。

(4) 小波分析显示,各极端降水指数的变化以

14～17 a 和 20 a 左右周期最为明显，分别呈多—少—多—少—多—少—多和多—少—多—少—多的变化。此外，各极端降水指数还存在 3～5 a 不连续的短周期。

（5）内蒙古大部地处干旱地区，气候干燥少雨，加之近 60 a 降水量减少，这是该区极端降水减少的原因。

（6）内蒙古地区降水量偏少，近 60 a 各极端降水指数都在下降，这造成了研究区旱灾和风灾频次增多加重，低温冻害和洪涝灾害减少减轻。为减少气象灾害造成的损失，应有针对性地做好旱灾和风灾防治措施。

参考文献（References）：

〔1〕 Sun Qiaohong，Miao Chiyuan，Qiao Yuanyuan，et al. The nonstationary impact of local temperature changes and ENSO on extreme precipitation at the global scale〔J〕. Climate Dynamics，2017，49（11－12）：4 281－4 292.

〔2〕 Wang Cailin，Ren Xuehui，Li Ying. Analysis of extreme precipitation characteristics in low mountain areas based on three-dimensional copulas：Taking Kuandian County as an example〔J〕. Theoretical and Applied Climatology，2017，128（1－2）：169－179.

〔3〕 Liu Run，Liu Shaw Chen，Cicerone Ralph J，et al. Trends of extreme precipitation in Eastern China and their possible causes〔J〕. Advances in Atmospheric Sciences，2015，32（8）：1 027－1 037.

〔4〕 李双双，杨赛霓，刘宪锋. 1960—2013 年秦岭—淮河南北极端降水时空变化特征及其影响因素〔J〕. 地理科学进展，2015，34（3）：354－363.〔Li Shuangshuang，Yang Saini，Liu Xianfeng. Spatial and temporal variation characteristics of extreme precipitation and its influencing factors in Qinling-Huaihe North of Henan Province from 1960 to 2013〔J〕. Progress in Geography，2015，34（3）：354－363.〕

〔5〕 崔凤琪，唐海萍，张钦，等. 1960—2017 年呼伦贝尔草原极端气候事件时空变化〔J〕. 干旱区研究，2018，35（6）：1 382－1 391.〔Cui Fengqi，Tang Haiping，Zhang Qin，et al. Spatiotemporal variation of extreme climatic events in the Hulunbuir grasslands during the period of 1960—2017〔J〕. Acta Geographica Sinica，2018，35（6）：1 382－1 391.〕

〔6〕 任正果，张明军，王圣杰，等. 1961—2011 年中国南方地区极端降水事件变化〔J〕. 地理学报，2014，69（5）：640－649.〔Ren Zhengguo，Zhang Mingjun，Wang Shengjie，et al. Changes of extreme precipitation events in Southern China from 1961 to 2011〔J〕. Acta Geographica Sinica，2014，69（5）：640－649.〕

〔7〕 商沙沙，廉丽姝，马婷，等. 近 54 a 中国西北地区气温和降水的时空变化特征〔J〕. 干旱区研究，2018，35（1）：68－76.〔Shang Shasha，Lian Lishu，Ma Ting，et al. Spatiotemporal variation of temperature and precipitation in Northwest China in recent 54 years〔J〕. Arid Zone Research，2018，35（1）：68－76.〕

〔8〕 孔锋，史培军，方建，等. 全球变化背景下极端降水时空格局变化及其影响因素研究进展和展望〔J〕. 灾害学，2017，32（2）：165－174.〔Kong Feng，Shi Peijun，Fang Jian，et al. Research progress and prospect of temporal and spatial patterns of extreme precipitation and its influencing factors under the background of global change〔J〕. Journal of Catastrophology，2017，32（2）：165－174.〕

〔9〕 高涛，谢立安. 近 50 a 来中国极端降水趋势与物理成因研究综述〔J〕. 地球科学进展，2014，29（5）：577－589.〔Gao Tao，Xie Li'an. Summary of research on trends and physical causes of extreme precipitation in China in recent 50 years〔J〕. Advances in Earth Science，2014，29（5）：577－589.〕

〔10〕 龙妍妍，范广洲，李飞，等. 高原夏季风对中国夏季极端降水的影响研究〔J〕. 高原气象，2018，37（1）：1－12.〔Long Yanyan，Fan Guangzhou，Li Fei，et al. Study on the impact of plateau summer monsoon on summer extreme precipitation in China〔J〕. Plateau Meteorology，2018，37（1）：1－12〕

〔11〕 谢志清，杜银，曾燕，等. 江淮流域年极端降水事件分类特征及其致洪风险〔J〕. 中国科学：地球科学，2018，48（9）：1 153－1 168.〔Xie Zhiqing，Du Yin，Zeng Yan，et al. Classification characteristics and flood risk of annual extreme precipitation events in the Yangtze-Huaihe River Basin〔J〕. Scientia Sinica terrae ，2018，48（9）：1 153－1 168.〕

〔12〕 孔锋，王一飞，方建，等. 中国夏季极端降水空间格局及其对城市化的响应（1961—2010）〔J〕. 长江流域资源与环境，2018，27（5）：996－1 010.〔Kong Feng，Wang Yifei，Fang Jian，et al. Spatial pattern of extreme precipitation in summer and its response to urbanization in China （1961－2010）〔J〕. Resources and Environment in The Yangtze Basin，2018，27（5）：996－1 010.〕

〔13〕 迟潇潇，尹占娥，王轩，等. 我国极端降水阈值确定方法的对比研究〔J〕. 灾害学，2015，30（3）：186－190.〔Chi Xiaoxiao，Yin Zhan'e，Wang Xuan，et al. A comparative study on the determination methods of extreme precipitation threshold in China〔J〕. Journal of Catastrophology，2015，30（3）：186－190.〕

〔14〕 任福民，高辉，刘绿柳. 极端天气气候事件监测与预测研究进展及其应用综述〔J〕. 气象，2014，40（7）：860－874.〔Ren Fumin，Gao Hui，Liu Lüliu，et al. Summary of research progress and application of extreme weather and climate events monitoring and forecasting〔J〕. Meteorological Monthly，2014，40（7）：860－874.〕

〔15〕 顾西辉，张强，孔冬冬. 中国极端降水事件时空特征及其对夏季温度响应〔J〕. 地理学报，2016，71（5）：718－730.〔Gu Xihui，Zhang Qiang，Kong Dongdong. Spatial and temporal characteristics of extreme precipitation events in China and their responses to summer temperature〔J〕. Acta Geographica Sinica，2016，71（5）：718－730.〕

〔16〕 冯克鹏，田军仓，沈晖. 近半个世纪河套地区极端降水事件的气候特征〔J〕. 干旱区研究，2017，34（6）：1 230－1 239.〔Feng Kepeng，Tian Juncang，Shen Hui. Climatic characteristics of extreme precipitation events in Hetao in recent half a century〔J〕. Arid Zone Research，2017，34（6）：1 230－1 239.〕

〔17〕 慈晖，张强，张江辉，等. 1961—2010 年新疆极端降水过程时空特征〔J〕. 地理研究，2014，33（10）：1 881－1 891.〔Ci Hui，Zhang Qiang，Zhang Jianghui，et al. Spatial and temporal characteristics of extreme precipitation in Xinjiang from 1961 to 2010〔J〕. Geographical Research，2014，33（10）：1 881－1 891.〕

〔18〕 贺振，贺俊平. 1960—2012 年黄河流域极端降水时空变化〔J〕. 资源科学，2014，36（3）：490－501.〔He Zhen，He Junping. Spa-

tial and temporal variations of extreme precipitation in the Yellow River Basin from 1960 to 2012〔J〕. Resource Sccience,2014,36(3):490 – 501.〕

〔19〕吴佳,周波涛,徐影. 中国平均降水和极端降水对气候变暖的响应:CMIP5 模式模拟评估和预估〔J〕. 地球物理学报,2015,58(9):3 048 –3 060.〔Wu Jia,Zhou Botao,Xu Ying. Response of China's average and extreme precipitation to climate warming: Simulated assessment and prediction of CMIP5 Model〔J〕. Chinese Journal of Geophysics,2015,58(9):3 048 –3 060.〕

〔20〕Jun Sun,Zhang Fuqing. Daily extreme precipitation and trends over China〔J〕. Science China Earth Sciences,2017,60(12):2 190 – 2 203.

〔21〕尹占娥,田鹏飞,迟潇潇. 基于情景的 1951—2011 年中国极端降水风险评估〔J〕. 地理学报,2018,73(3):405 – 413.〔Yin Zhan'e,Tian Pengfei,Chi Xiaoxiao. Scenario-based risk assessment of extreme precipitation in China from 1951 to 2011〔J〕. Acta Geographica Sinica,2018,73(3):405 –413.〕

〔22〕殷方圆,殷淑燕. 近 54 a 来晋陕蒙地区降水变化特征〔J〕. 干旱地区农业研究,2016,34(3):213 – 220,260.〔Yin Fangyuan,Yin Shuyan. Characteristics of precipitation variation in Shanxi, Shaanxi and Inner Mongolia in recent 54 years〔J〕. Agricultural Research in the Arid Areas,2016,34(3):213 –220,260.〕

〔23〕闫慧敏,陈伟娜,杨方兴,等. 过去 50 a 内蒙古极端气候事件时空格局特征〔J〕. 地理研究,2014,33(1):13 –22.〔Yan Huimin, Chen Weina,Yang Fangxing,et al. Spatial and temporal characteristics of extreme climate events in Inner Mongolia in the past 50 years〔J〕. Geographical Research,2014,33(1):13 –22.〕

〔24〕尤莉,戴新刚,张宇. 1961—2008 年内蒙古降水极端事件分析〔J〕. 气候变化研究进展,2010,6(6):411 – 416.〔You Li,Dai Xingang,Zhang Yu. Analysis of extreme precipitation events in Inner Mongolia from 1961 to 2008〔J〕. Advances in Climate Change Research,2010,6(6):411 –416.〕

〔25〕白美兰,郝润全,李喜仓,等. 1961—2010 年内蒙古地区极端气候事件变化特征〔J〕. 干旱气象,2014,32(2):189 – 193.〔Bai Meilan,Hao Runquan,Li Xicang,et al. Variation characteristics of extreme climate events in Inner Mongolia from 1961 to 2010〔J〕. Arid Meteorology,2014,32(2):189 –193.〕

〔26〕赵国永,韩艳,刘明华,等. 1951—2014 年内蒙古自治区极端气温事件时空变化特征〔J〕. 干旱区资源与环境,2017,31(12):110 –116.〔Zhao Guoyong,Han Yan,Liu Minghua,et al. Spatial and temporal characteristics of extreme temperature events in Inner Mongolia Autonomous Region from 1951 to 2014〔J〕. Journal of Arid Land Resources and Environment,2017,31(12):110 – 116.〕

〔27〕孙艳玲,郭鹏,延晓冬,等. 内蒙古植被覆盖变化及其与气候、人类活动的关系〔J〕. 自然资源学报,2010,25(3):407 –414.〔Sun Yanling,Guo Peng,Yan Xiaodong,et al. Change of vegetation cover in Inner Mongolia and its relationship with climate and human activities〔J〕. Journal of Natural Resources,2010,25(3):407 –414.〕

〔28〕时忠杰,高吉喜,徐丽宏,等. 内蒙古地区近 25 a 植被对气温和降水变化的影响〔J〕. 生态环境学报,2011,20(11):1 594 – 1 601.〔Shi Zhongjie,Gao Jixi,Xu Lihong,et al. Effects of vegetation on temperature and precipitation in Inner Mongolia in recent 25 years〔J〕. Ecology and Environment,2011,20(11):1 594 – 1 601.〕

〔29〕IPCC AR5. Intergovernmental Panel on Climate Change Climate Change Fifth Assessment Report (AR5)〔M〕. Cambridge,UK: London Cambridge University Press,2013.

〔30〕张冰,刘宣飞,郑广芬,等. 宁夏夏季极端降水日数的变化规律及其成因〔J〕. 大气科学学报,2018,41(2):176 – 185.〔Zhang Bing,Liu Xuanfei,Zheng Guangfen,et al. Variation and causes of extreme precipitation days in Ningxia in Summer〔J〕. Transactions of Atmospheric Sciences,2018,41(2):176 –185.〕

〔31〕董祝雷,白美兰,衣娜娜. 内蒙古夏季降水与亚洲纬向环流的联系〔J〕. 干旱气象,2018,36(2):256 –262.〔Dong Zhulei,Bai Meilan,Yi Nana. Relation between summer rainfall in Inner Mongolia and latitudinal circulation in Asia〔J〕. Arid Meteorology, 2018,36(2):256 –262.〕

〔32〕谢志清,杜银,曾燕,等. 江淮流域年极端降水事件分类特征及其致洪风险〔J〕. 中国科学:地球科学,2018,48(9):1 153 – 1 168.〔Xie Zhiqing,Du Yin,Zeng Yan,et al. Classification characteristics and flood risk of annual extreme precipitation events in the Yangtze-Huaihe River Basin〔J〕. Scientia Sinica Terrae,2018, 48(9):1 153 –1 168.〕

〔33〕水利部,国家防汛抗旱总指挥部办公室. 中国水旱灾害公报 2013〔M〕. 北京:中国水利水电出版社,2014 .〔Ministry of Water Resources, Office of the General Headquarters of State Flood Control and Drought Relief. China Flood and Drought Disaster Bulletin 2013〔M〕. Beijing: China Water Resources and Hydropower Publishing House,2014.〕

〔34〕张强,韩兰英,张立阳,等. 论气候变暖背景下干旱和干旱灾害风险特征与管理策略〔J〕. 地球科学进展,2014,29(1):80 – 91.〔Zhang Qiang,Han Lanying,Zhang Liyang,et al. Analysis on the character and management strategy of drought disaster and risk under the climatic warming〔J〕. Advances in Earth Science,2014, 29(1) : 80 –91.〕

〔35〕周扬,李宁,吴吉东. 内蒙古地区近 30 a 干旱特征及其成灾原因〔J〕. 灾害学,2013,28(4):67 –73.〔Zhou Yang,Li Ning,Wu Jidong. Drought characteristics and disaster reasons in Inner Mongolia in recent 30 years〔J〕. Journal of Catastrophology,2013,28(4):67 –73.〕

〔36〕李卉青,王晶. 内蒙古自治区旱灾趋势分析〔J〕. 内蒙古社会科学,2012,33(2):121 – 124.〔Li Huiqing,Wang Jing. Analysis of drought trend in Inner Mongolia Autonomous Region〔J〕. Inner Mongolia Social Sciences,2012,33(2):121 –124.〕

〔37〕温克刚,沈建国. 中国气象灾害大典・内蒙古卷〔M〕. 北京:气象出版社,2008.〔Wen Kegang,Shen Jianguo. China Meteorological Disaster Canon Inner Mongolia Volume〔M〕. Beijing: China Meteorological Press,2008.〕

〔38〕内蒙古自治区统计局. 内蒙古统计年鉴 2017〔M〕. 北京:中国统计出版社,2017.〔Inner Mongolia Autonomous Region Statistics Bureau. Inner Mongolia Statistical Yearbook 2017〔M〕. Beijing: China Statistics Press,2017.〕

〔39〕宋丽弘,唐孝辉. 内蒙古草原碳汇经济发展的基础与路径〔J〕. 中国草地学报,2012,34(2):1 –7.〔Song Lihong,Tang Xiaohui. The basis and path of the development of grassland carbon sequestration economy in Inner Mongolia〔J〕. Chinese Journal of Grassland,2012,34(2):1 –7.〕

〔40〕戴萍,任景霞,李艳慧. 内蒙古自治区草原沙漠化的对策研究

〔J〕. 内蒙古林业调查设计,2016,39(1):135 – 137.〔Dai Ping, Ren Jingxia, Li Yanhui. Study on countermeasures of grassland desertification in Inner Mongolia Autonomous Region〔J〕. Inner Mongolia Forestry Investigation and Design,2016,39(1):135 – 137.〕

〔41〕潘建军. 内蒙古气象灾害及其防御〔M〕. 北京:气象出版社,2007.〔Pan Jianjun. Meteorological Disasters and Their Prevention in Inner Mongolia〔M〕. Beijing:China Meteorological Press,2007.〕

〔42〕云小林. 内蒙古牧区旱灾演变及抗旱能力评价研究〔D〕. 北京:中国农业科学院,2006.〔Yun Xiaolin. Evolution of Drought and Evaluation of Drought Resistance in Pastoral Areas of Inner Mongolia〔D〕. Beijing:Chinese Academy of Agricultural Sciences,2006.〕

〔43〕康玲,孙鑫,侯婷,等. 内蒙古地区沙尘暴的分布特征〔J〕. 中国沙漠,2010,30(2):400 – 406.〔Kang Ling, Sun Xin, Hou Ting, et al. Distribution characteristics of sandstorm in Inner Mongolia〔J〕. Journal of Desert Research,2010,30(2):400 – 406.〕

〔44〕李丹,李云鹏,刘朋涛. 内蒙古近 30 a 气象灾害时空变化特征〔J〕. 干旱气象,2016,34(4):663 – 669.〔Li Dan, Li Yunpeng, Liu Pengtao. Spatial and temporal characteristics of meteorological disasters in Inner Mongolia in recent 30 years〔J〕. Arid Meteorology,2016,34(4):663 – 669.〕

〔45〕冯晓晶,高志国,刘新,等. 1961—2016 年内蒙古极端降雪事件特征分析〔J〕. 内蒙古气象,2018(5):20 – 23.〔Feng Xiaojing, Gao Zhiguo, Liu Xin, et al. Characteristics of extreme snow events in Inner Mongolia from 1961 to 2016〔J〕. Meteorology Journal of Inner Mongolia,2018(5):20 – 23.〕

〔46〕孙永刚,孟雪峰,孙鑫,等. 内蒙古暴风雪天气成因分析〔J〕. 干旱区资源与环境,2012,26(5):18 – 27.〔Sun Yonggang, Meng Xuefeng, Sun Xin, et al. Cause analysis of snowstorm weather in Inner Mongolia〔J〕. Journal of Arid Land Resources and Environment,2012,26(5):18 – 27.〕

〔47〕黄建平,冉津江,季明霞. 中国干旱半干旱区洪涝灾害的初步分析〔J〕. 气象学报,2014,72(6):1 096 – 1 107.〔Huang Jianping, Ran Jinjiang, Ji Mingxia. Preliminary analysis of flood disasters in arid and semi-arid areas of China〔J〕. Acta Meteorologica Sinica,2014,72(6):1 096 – 1 107.〕

〔48〕布仁,哈斯珠拉. 内蒙古自治区突发性洪涝灾害孕灾环境研究〔J〕. 内蒙古师范大学学报(自然科学版),2013,42(5):571 – 576,582.〔Bu Ren, Hasizhula. Study on pregnant environment of sudden flood and waterlogging disasters in Inner Mongolia Autonomous Region〔J〕. Journal of Inner Mongolia Normal University (Natural Science Edition),2013,42(5):571 – 576,582.〕

Spatiotemporal Variation and Effect of Extreme Precipitation in Inner Mongolia in Recent 60 Years

MA Ai-hua[1], YUE Da-peng[1], ZHAO Jing-bo[1,2], HU Qian[1]

(1. *School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an* 710119, *Shaanxi, China*;
2. *State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an* 710075, *Shaanxi, China*)

Abstract: This study was based on the daily precipitation data from 41 meteorological stations in Inner Mongolia from 1958 to 2017. The 9 extreme precipitation indices suggested by WMO, liner trend method, Kriging interpolation, Mann-Kendall test, Morlet wavelet analysis and principle component analysis were used to study the spatiotemporal and periodic changes of extreme precipitation and its disasters in Inner Mongolia. The results showed that a drying trend occurred in Inner Mongolia in recent 60 years, especially in the 1960s and the beginning of this century. Spatially, the extreme precipitation indices were holistically in a decrease trend from the eastern and western parts to the central area, and their low values occurred in Jining, Huhhot, Tongliao and Xin Barag Right Banner. A mutation of the extreme precipitation indices occurred in 1995, and after that these indices were in a slight reduction. There were the 3 – 5 a, 14 – 17 a and about 20 a periodic changes of extreme precipitation indices. There were the high correlations between the extreme precipitation indices and the annual precipitation except CDD. The change of extreme precipitation in Inner Mongolia resulted in the drought and wind disasters, grassland desertification and reduction of flood and low temperature disasters in the study area. Suitable measures should be taken to prevent and control drought and wind disasters.

Key words: extreme precipitation; spatiotemporal variation; precipitation mutation; periodic law; Inner Mongolia